

## 척추 MRI를 위한 One-Channel Phased-Array Quadrature RF 코일

양운정·김선경·이덕래·안창범\*·오창현

고려대학교 전자및정보공학부, \*광운대학교 전기공학과  
(1997년 9월 2일 접수, 1998년 3월 13일 채택)

### One-Channel Phased-Array Quadrature RF Coil for Spine Magnetic Resonance Imaging

Y.J. Yang, S.K. Kim, D.R. Lee, C.B. Ahn\*, and C.H. Oh

Department of Electronics and Information Engineering, Korea University

\*Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

(Received September 2, 1997, Accepted March 13, 1998)

**요 약 :** 이 논문의 목적은 척추 영상을 위한 One-channel phased-array quadrature RF 코일을 개발하는 것이다. 두개의 수직방향 RF 코일을 조합하여 만든 Quadrature RF 코일은 한 개의 코일을 쓰는 것에 비해  $\sqrt{2}$  배의 signal-to-noise ratio(SNR) 향상을 얻을 수 있다. Phased-array quadrature RF 코일에서는 코일 element의 크기를 줄임으로써 SNR을 더욱 향상시킬 수 있다. 이에 따라 줄어드는 코일의 Coverage를 유지하기 위해 phased-array 코일에서는 여러 set의 작은 코일을 사용한다. 다음과 같은 두 가지 방법으로 Phased-array의 각 코일간의 간섭 현상을 제거했으며 SNR을 개선하였다. (1)인접한 코일을 적당한 간격으로 겹쳐지게 함으로써 상호 인덕턴스를 영으로 만든다. (2)Pre-amp를 코일에 바로 붙임으로써 커플링 회로에서의 SNR loss를 방지하고 그 다음 단에서 코일 사이의 phase차를 보정한다. 이 논문에서는 Receive-only mode의 Phased-array quadrature RF 코일을 개발하여 팬텀과 인체 척추의 영상촬영을 통하여 그 성능을 입증하였다.

**Abstract :** A new one-channel phased-array quadrature RF coil is developed for spine MR imaging. Quadrature RF coils for MRI have been used to improve the signal-to-noise ratio (SNR) by " $\sqrt{2}$ " using two orthogonal RF coils in combination. More recently, the phased-array RF coil has been proposed for more improvement of SNR by using an array of reduced-size RF coil elements. Two schemes proposed for the new phased-array quadrature RF coil are : (1) Proper overlapping of two quadrature RF coils thus removing the mutual inductance and (2) Attaching preamplifiers right after the coil section and combining the signal with proper phase delays. The coil has been implemented for receive-only mode, and tested by phantom and volunteer imaging. The experimental results show the utility of the proposed RF coil.

**Key words :** Phased-array quadrature RF coil, Spine MR imaging, SNR, Mutual inductance

## 서 론

이 논문의 목적은 척추 영상을 위한 One-channel Quadrature Phased-array RF 코일을 개발하는 것이다.

이런 종류의 RF 코일은 MRI에서 보통 쓰이는 volume 영상 코일과는 달리 큰 FOV(field of view)를 가지고 표면 근처의 영상 촬영 대상 영역에 대해 좋은 SNR을 제공할 수 있다. 각각의 element의 loading을 줄임으로써, 그리고 각각의 element를 quadrature type으로 만들므로써 SNR을 향상시킬 수 있다 [1-3]. 또한 여러 element를 서로 간섭현상이 거의 없이 만들어 함께 사용함으로써 필요한 coverage를 확보할 수 있다.

이 논문에서는 인체의 척추영상에 유용한 직사각형 모양을 가진 Receive-only mode의 quadrature 코일을 phased-array

이 논문은 학술진흥재단('95, 02-E-0526) 및 보건복지부(G7의료공학기술 개발과제, HMP-95-G-01-03)의 지원으로 연구되었음.

통신저자 : 오창현, (339-800) 충남 연기군 조치원읍 서창동 208  
고려대학교 전자및정보공학부  
Tel. (0415)60-1353, Fax. (0415)867-4442

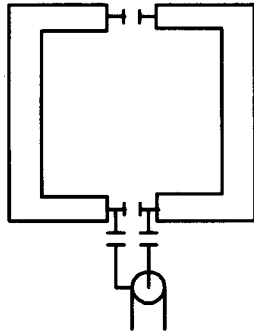


그림 1. One-loop 코일의 구조  
Fig. 1. Structure of One-loop RF Coil

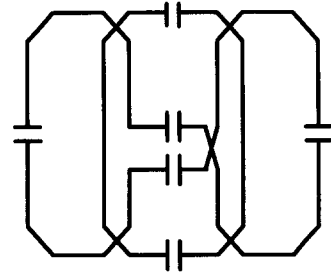


그림 2. Quadrature 코일의 구조  
Fig. 2. Structure of Quadrature RF Coil

type[4-6]으로 설계, 제작하고 1.0T whole body MRI system 을 사용하여 팬텀 실험과 사람 척추영상을 촬영하여 그 성능을 입증하였다.

**방법 및 결과**

표면 코일은 SNR을 향상시키고 이에 따라 공간 해상도도 높 이기 위해 사용된다. 이를 여러개 연결하여 Phased-array 코일 을 만들게 되며 Phased-array의 각 코일간의 간섭 현상의 제거 와 SNR 개선은 다음과 같은 방법으로 수행된다.

(a) 인접한 코일을 적당한 간격으로 겹쳐지게 함으로써 상호 인덕턴스를 영으로 만든다. 여기서 상호 인덕턴스가 영이되는 겹쳐지는 정도는 참고문헌[6]과 같은 방법으로 구할 수 있으며 본 연구에서는 그 이론을 기초로 하여 실험적으로 조절하였다.

(b) Pre-amp를 코일에 바로 붙임으로써 커플링 회로에서의 SNR loss를 방지하고 그 다음 단에서 코일 사이의 phase차를 보정하였다.

Surface코일은 보통 Receive-only mode로 제작되며 이 연구 에서는 아래와 같은 세 종류의 코일을 제작하여 그 성능(SNR) 을 비교해 보았다.

(1) **One-loop코일** : 이 코일은 1개의 loop으로 제작하여 L/T spine영상에서 최대한의 sensitivity를 제공하기 위한 크기와 모 양으로 설계되었으며 8mm의 구리 튜브를 사용하였다(가로×세 로 : 17cm×38.5cm, 튜브중심기준). 그림 1에 그 모양을 보였다.

(2) **Quadrature코일** : 그림 2에 그 모양을 보였는데 이것은 같은 크기의 one-loop코일과 비교하여  $\sqrt{2}$  배의 SNR 향상이 있 었다[1-3]. 본 코일은 8mm의 구리 튜브를 사용하여 만들었으 며 두 개의 직사각형 모양의 element(“8” shape, horizontal el- ement, 가로×세로 : 11.5cm×20cm, 튜브중심기준)와 한 개의 직사각형 모양의 element(One-loop, vertical element, 가로× 세로 : 14.5cm×16cm, 튜브중심기준)를 대칭을 이루어 서로 겹 쳐지게 하여 상호 인덕턴스를 상쇄시키도록 만들었다.

(3) **Phased-array quadrature 코일** : 두 코일 elements(가로 ×세로 : 11.5cm×16cm, 튜브중심기준)와 한 개의 코일 ele-

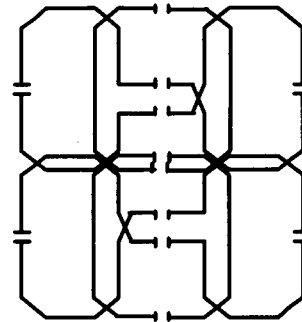


그림 3. Phased-array quadrature 코일의 구조  
Fig. 3. Structure of the Phased-array quadrature RF Coil

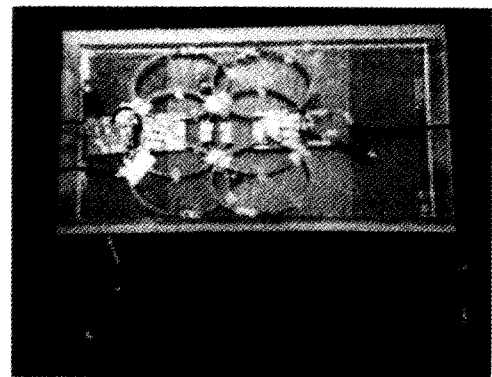


그림 4. 제작된 Phased-array quadrature 코일의 사진  
Fig. 4. Photograph of the constructed Phased-array quadrature RF Coil

ment(가로×세로 : 14.5cm×16cm, 튜브중심기준)를 겹쳐서 결 합하여 Quadrature 코일을 만든다. 이와 같이 만든 Quadrature coil을 같은 크기로 두 개를 만든 후 두 개의 quadrature 코일 을 상호 coupling이 최소가 되도록 결합하여(겹치는 정도의 조 절방법은 참고문헌[6]을 참조) Phased-array quadrature coil 을 제작한다. 전체 코일의 크기는 29cm×26.5cm이다. 그림 3에 그 모양을 보였으며 제작된 코일의 사진을 그림 4에 보였다. 실 체로 제작된 코일은 튜브가공시의 편이성을 위해 같은 길이(가 로, 세로)의 타원모양으로 제작되었다.

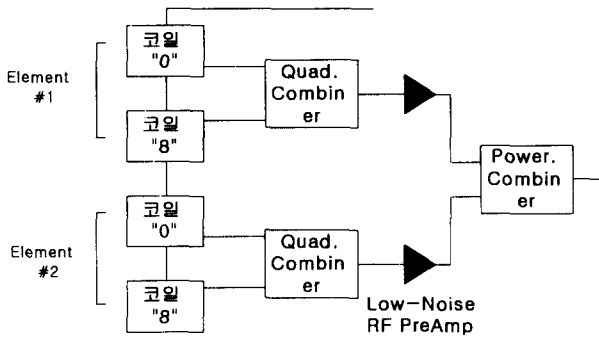


그림 5. Phased-array quadrature RF 코일과 Combiner의 block diagram

Fig. 5. Block diagram of the Phased-array quadrature RF Coil and combiner

표 1. 세 종류 코일의 Quality factor(Q)를 측정 한 결과( $f_0$ =center frequency(42.58MHz),  $Q=f_0/3dB$  bandwidth, loading : 약 60kg의 인체(척추부근))

Table 1. Measured Quality factor of the three RF Coils( $f_0$ =center frequency(42.58MHz),  $Q=f_0/3dB$  bandwidth, loading : about 60kg of human body(spine area))

코일	크기(가로×세로 : cm)	Q(loaded)
One-loop 코일	17×38.5	25
Quadrature 코일 (“one-loop” element)	14.5×16	23
(“8” element)	11.5×20	50
Phased-array quadrature 코일 (“one-loop” element)	14.5×16	40
(“8” element)	11.5×16	100

이 4개의 코일에서 나온 NMR signal은 그림 5와 같은 방법으로 합쳐졌다.

위 코일들은 직경 8mm의 구리 튜브와 비자성체의 칩 커패시터, 그리고 가변 커패시터로 제작되었다.

이 코일들은 42.58MHz(1.0Tesla)에 tune되었고 50Ω에 matching되었다.

앞에서 제시된 세 종류의 코일에 대해 코일의 Quality factor(Q)값을 HP Network Analyzer 4195A로 측정하여 표 1에 보였다(loaded Q).

T2-weighted Gradient echo sequence(TR : 500ms, TE : 9ms, Flip angle : 30°, Slice thickness : 4.5mm, acquisition matrix : 256×256, NEX : 3, FOV : 250mm)를 사용하여 척추 영상을 얻었다. 그림 6의 (a)는 Phased-array quadrature RF 코일에서 위쪽 코일로 얻은 영상 (b)는 아래쪽 코일로 얻은 영상 (c)는 Combiner를 통해서 두 코일을 다 사용해서 얻은 영상이다. 여러 평면이 얻어질 수 있는 것을 보이기 위해 두 코일을 다 사용해서 얻은 다평면 척추 영상을 그림 7에 보였다(T2-



(a) (b) (c)

그림 6. Phased-array quadrature RF 코일로 얻은 영상 (a) 위쪽 코일로 얻은 영상 (b) 아래쪽 코일로 얻은 영상 (c) Combiner를 통해서 두 코일을 다 사용해서 얻은 영상

Fig. 6. Images from the Phased-array quadrature RF Coil (a) Image from the upper coil (b) Image from the lower coil (c) Combined image from the two coils

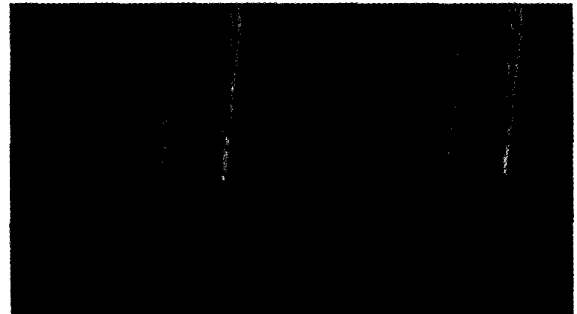


그림 7. Phased-array quadrature RF 코일로 얻은 영상

Fig. 7. Images from the Phased-array quadrature RF Coil

표 2. 세 코일로 얻은 척추영상의 SNR을 비교한 결과

Table 2. Comparison table of the SNR of the spine images from the three coils

코일	SNR
One-loop 코일	30
Quadrature 코일	41
Phased-array quadrature 코일	58

weighted, flow-compensated, TR : 2000ms, TE : 90ms, Slice thickness : 4.5mm, NEX : 1, FOV : 250mm). 총 9평면중 척추 중심부근의 2평면의 영상을 보였다.

그리고 세 코일로 얻은 Volunteer L-spine 영상의 SNR을 비교 분석하여 표 2에 보였다. SNR은 아래의 식을 이용하여 구했으며 background noise는 artifact가 없는 white noise로 구성된 부분을 선택하여 평균값을 구했다.

$$\text{SNR} = \frac{\text{조직의 신호강도(signal intensity)}}{\text{조직외의 신호강도(background noise)}}$$

표2에서 보는 바와 같이 제안된 Phased-array quadrature 코일이 다른 코일보다 SNR이 1.5~2.0배 높음을 알 수 있다.

## 결 론

One-loop 또는 Quadrature코일에 비해 제작된 Phased-array quadrature RF 코일은 SNR이 향상되어 MRI에 유용하며 현재 메디슨 1.0 Tesla whole-body MRI시스템에 장착하여 실험 중이다.

## 참 고 문 헌

1. V.J. Sank, C-N. Chen, and D.I. Hoult, "A Quadrature

*Coil for the Adult Human Head*", *Journal of Magnetic Resonance* 69, pp. 36-242, 1986.

2. C-N. Chen, D.I. Hoult, and V.J. Sank, *Journal of Magnetic Resonance* 54, p. 324, 1983.

3. D.I. Hoult, C-N. Chen, and V.J. Sank, *Magnetic Resonance in Medicine* 1, p. 171, 1984.

4. C.E. Hayes, N. Hattes, and P.B. Roemer, *Proc. of Eighth Annual Meeting of the Society of Magnetic Resonance in Medicine*, p. 175, 1989.

5. C.E. Hayes, P.B. Roemer, *Magnetic Resonance in Medicine* 16, p. 181, 1990.

6. P.B. Roemer, W.A. Edelstein, C.E. Hayes, S.P. Souza, and O.M. Mueller, "The NMR Phased Array", *Magnetic Resonance in Medicine* 16, pp. 192-225, 1990.